

Energiebedarf für eine optimale Profilproduktion

P. Johne, Haan

Die Aluminium-Strangpresswerke an Hochlohnstandorten wie Deutschland, aber nicht nur dort, sind darauf angewiesen, alle sich bietenden Produktivitätsreserven auszuschöpfen. Die weitere Verbesserung der Energieeffizienz im Strangpressprozess kann dazu ein Ansatz sein. Beim Energieeinsatz, der aus einer Vielzahl an Einzelmaßnahmen resultiert, wird inzwischen ein Gesamtwirkungsgrad von gut 50 Prozent erreicht – im Idealfall sogar, wie gezeigt wird, noch deutlich darüber.

Energie – Gewinnung, Verbrauch, Transport und Speicherung – gehört heute zu den intensiv diskutierten gesellschaftlichen Themen. Auf der einen Seite geht unsere Wohlstandsmehrung mit einem gesteigerten Energieverbrauch einher, zugleich aber belastet die Energiegewinnung die Umwelt. Dieser Zielkonflikt ist Anlass, die Nutzung natürlicher Energiequellen zu forcieren.

Darüber hinaus werden auch auf der Verbrauchsseite alle Prozesse auf einen minimalen Energieeinsatz hin untersucht. Nicht zuletzt auch in der Aluminiumindustrie, die in dieser Hinsicht besonders gefordert ist – sowohl wegen ihrer herausragenden Bedeutung als Leichtbauwerkstoff als auch im Hinblick auf die energieintensive Produktion von Primäraluminium.

Mit dieser Aufgabenstellung setzt sich die Aluminiumindustrie seit langem auseinander – und zwar nicht nur bei der Metallerzeugung (aus Bauxiterz und Schrottmateriale), sondern auf allen Stufen der Verarbeitung. Am Beispiel der Halbzeugproduktion durch Strangpressen soll nachstehend gezeigt werden, dass die Branche auf diesem Weg weit vorangekommen ist.

Der Energiebedarf zum Homogenisieren

Der Strangpressprozess setzt sich aus einer Reihe von Teilprozessen zusammen, für die jeweils mittelständische, innovative Ausrüstungspartner verantwortlich sind. Bei all diesen Anlagen und Einrichtungen gehört die Begrenzung der Energieverluste zu den vorrangigen Zielstellungen. Indem jeweils der theoretische, physikalisch bedingte Energiebedarf den tatsächlichen Verbrauchswerten gegenübergestellt wird, lassen sich die Verluste bzw. der erreichte Wirkungsgrad abschätzen.

Energy demand for optimum profile production

P. Johne, Haan



Mit der neu entwickelten Kammerofenanlage von Hertwich profitiert der Anwender nicht nur von dem automatisierten Arbeitsablauf und der kürzeren Homogenisierungsdauer, sondern darüber hinaus auch von einem deutlich reduzierten Energieverbrauch

With the newly developed chamber furnace unit by Hertwich the user benefits not only from the automated work sequence and the shorter homogenization time, but also from substantially lower energy consumption

Aluminium extrusion plants in countries with high labour costs, such as Germany but not only there, are obliged to make the most of every available productivity reserve. Further improvement of the energy efficiency in the extrusion process can be an approach toward that. In the use of energy that results from a multiplicity of individual measures, an overall efficiency of at least 50% has nowadays been achieved – and in ideal cases even substantially more, as will be shown.

Energy – generation, consumption, transport and storage – is nowadays one of the most intensely debated social themes. On the one hand increasing our standard of living goes hand in hand with higher energy consumption, but at the same time energy production has adverse effects on the environment.

This conflict of interests compels the use of natural energy sources. Further, on the consumption side too we strive to use the least possible energy in every process. Not least in the aluminium industry as well, which from that standpoint is particularly challenged, both on account of the outstanding importance of aluminium as a lightweight structural material and also in view of the energy-intensive

nature of primary aluminium production.

For a long time the aluminium industry has concerned itself with this problem, not just in relation to the production of the metal (from bauxite ore and scrap material), but also in every stage of processing. In this article, taking the example of semis manufacturing by extrusion it will be demonstrated that the industry has progressed a long way in that direction.

Energy demand for homogenization

The extrusion process involves a series of sub-processes for which medium-sized, innovative equipment partners are responsible. For all the machinery and equipment used in the extrusion line, the limitation of energy losses is the primary objective. By comparing the respective theoretical, physically entailed energy demand with the actual consumption values, the losses involved and, respectively, the efficiency ratio achieved can be estimated.

The homogenization process, a heat treatment by which the cast structure is modified for the subsequent deformation, is the first processing step on the way from the cast billet to the extrusion profile. For 'heating', 'hold-

ing at the homogenization temperature' and 'cooling' an amount of energy is needed which is correlated with the specific heat capacity of the material being processed¹. Accordingly, in theory heating one tonne of aluminium to a homogenization temperature of 550 °C demands around 135 kWh. The energy demand for cooling is arbitrarily estimated as around 5 kWh/t; the value is greatly influenced by the alloy-dependent cooling regime, but in relation to the heating it is relatively small.

Originally, exclusively chamber furnaces were used for homogenization treatments. In the designs used until now a relatively large energy fraction – depending on the amount spent on insulation and on the heating concept applied – was wasted due to heat losses. These losses are the greater, the longer the overall process lasts. If for an older plant an efficiency of at most 40% is assumed, then for the heating alone 340 kWh/t are needed, plus the losses that occur during the holding time and during cooling.

Hertwich Engineering, the market leader in this special field of work, has concerned itself deeply with this problem and with modernized homogenization units has been able to achieve a significant energy efficiency increase. Its approach: when heating in a conventional chamber furnace the gas stream, as it passes through the stacked material being annealed, loses energy. This results in non-uniform temperature distribution and heating in the furnace chamber. To equalize these temperature differences longer heating times are needed.

The newly designed Hertwich furnace generation overcomes this drawback by optimized gas channelling in the furnace. Besides rationally positioned baffle plates the flow direction is varied in short intervals by means of flap-valves. This in turn results in more uniform heating of the furnace content. Values determined by experience show that the heating duration and accordingly the energy consumption can thereby be reduced by around 30%. During the flow reversal the fan operates at full power. During the holding time no external heating (by a burner, or electrical) is needed.

Along with other measures (better insulation, utilization of the exhaust gas heat), the energy demand has been reduced to around 210 kWh/t, as shown by measurements made on the furnace units produced until now. These

Der Homogenisiervorgang, eine Wärmebehandlung, mit der das Gussgefüge für das nachfolgende Umformen modifiziert wird, ist der erste Verarbeitungsschritt auf dem Weg vom Gussbarren zum Strangpressprofil. Zum „Aufheizen“, „Halten bei Homogenisiertemperatur“ und „Kühlen“ ist ein Energiebetrag erforderlich, der mit der spezifischen Wärmekapazität des verarbeiteten Materials¹ korreliert. Theoretisch sind danach zum Erwärmen von einer Tonne Aluminium auf eine Homogenisiertemperatur von 550 °C etwa 135 kWh erforderlich. Der Energiebedarf zur Kühlung

dieser Problematik intensiv befasst und konnte mit modernisierten Homogenisieranlagen eine signifikante Verbesserung der Energieeffizienz erreichen. Der Ansatz: Beim Aufheizen im konventionellen Kammerofen verliert der Gasstrom beim Durchgang durch das gestapelte Glühgut Energie. Das führt zu einer ungleichmäßigen Temperaturverteilung und Erwärmung im Ofenraum. Für den Ausgleich dieser Temperaturdifferenzen sind längere Aufheizzeiten erforderlich.

Diesem Nachteil begegnet die neu konzipierte Hertwich-Ofengeneration durch eine



Vor der Presse hat sich zur Bolzenerwärmung die Kombination aus Gas- und Induktionsofen als vorteilhaft erwiesen. Der Energieverbrauch im Gasofen konnte durch eine Reihe Maßnahmen reduziert werden.

Ahead of the press the combination of a gas and induction furnace for billet heating has proved to be advantageous. The energy consumption in the gas furnace has been reduced by a series of measures.

wird willkürlich mit ca. 5 kWh/t angenommen; der Anteil ist stark von dem legierungsabhängigen Kühlregime beeinflusst, in Relation zur Beheizung ist er aber relativ gering.

Ursprünglich wurden zur Homogenisierbehandlung ausschließlich Kammeröfen eingesetzt. Bei den bisher eingesetzten Bauarten geht ein relativ großer Energieanteil – je nach Isolieraufwand und Beheizungskonzept – durch Wärmeverluste verloren. Diese Verluste sind umso größer, je länger der Gesamtprozess andauert. Wenn für Altanlagen ein Wirkungsgrad von maximal 40 Prozent unterstellt wird, dann werden allein für das Aufheizen ca. 340 kWh/t benötigt, zuzüglich der Verluste in der Haltezeit und zur Kühlung.

Hertwich Engineering, Marktführer auf diesem speziellen Arbeitsgebiet, hat sich mit

optimierte Gasführung im Ofen. Neben sinnvoll angeordneten Leitblechen wird die Anströmrichtung mittels Klappen in kurzen Zeitintervallen umgesteuert. Das wiederum führt zu einer gleichmäßigeren Erwärmung des Ofeninhaltes. Erfahrungswerte zeigen, dass sich damit die Aufheizdauer und entsprechend der Energieverbrauch um etwa 30 Prozent verringern lassen. Der Ventilator läuft während des Umsteuerns mit voller Kraft durch. Während der Haltezeit wird keine externe Beheizung (durch Brenner oder elektrisch) benötigt.

Zusammen mit weiteren Maßnahmen (bessere Isolierung, Nutzung der Abgaswärme) konnte der Energiebedarf auf ca. 210 kWh/t reduziert werden, wie Messungen an den bislang ausgeführten Ofenanlagen zeigen. Diese Anhaltswerte gelten übrigens auch für die von Hertwich entwickelten Durchlauf-Homogenisieranlagen, die sich heute weltweit durchgesetzt haben.

Legt man diese Zahlen zugrunde, dann

¹ Pure aluminium, with a value of 0,896 kJ/(kg K), is between iron (0,452 kJ/(kg K) and magnesium (0,1046 kJ/(kg K)) and close to silicon (0,703 kJ/(kg K)). Thus, for wrought aluminium alloys an approximate value of 0,9 kJ/(kg K) can be assumed.

¹ Reines Aluminium liegt mit einem Wert von 0,896 kJ/(kg K) zwischen Eisen (0,452 kJ/(kg K)) und Magnesium (0,1046 kJ/(kg K)) und nahe dem Wert von Silizium (0,703 kJ/(kg K)). Für Aluminium-Knetlegierungen kann annähernd ein Wert von 0,9 kJ/(kg K) angenommen werden.

übersteigt der Energieverbrauch zum Homogenisieren im realen, modernisierten Betrieb den theoretisch ermittelten Wert um annähernd 70 kWh/t (Wirkungsgrad ca. 67%). Dabei sollte allerdings in Rechnung gestellt werden, dass unterschiedliche Bedingungen (Legierungen, Stangenabmessungen, Ofengröße etc.) diesen Wert nach der einen oder anderen Seite merklich verschieben können.

Bolzenerwärmung in Gas- und Induktionsöfen

Im realen Betrieb konkurrieren verschiedene Erwärmungsmethoden: Gasöfen in unterschiedlicher Ausführung, Induktionsöfen und Kombinationen aus beiden. Im Hinblick auf die Produktivität hat sich die Kombination aus Gasöfen (für die Grunderwärmung bis ca. 400 °C) und Induktionsofen (für den Taper bis ca. 480 °C) als besonders vorteilhafte Lösung erwiesen. Geht man von einer mittleren Anwärmtemperatur auf 450 °C aus, dann beträgt der theoretisch erforderliche Energiebetrag zum Anwärmen 110 kWh/t.

Bei der Auswahl der Bolzenerwärmung

sierungen zu beachten ist. Die Energieeffizienz ist von Bedeutung, weil sie die Betriebskosten maßgeblich beeinflusst. Bei der Abwägung dieser Kriterien kann sich herausstellen, dass diese teilweise im Widerspruch zueinander stehen.

Otto Junker gelangt beim Vergleich der Energieeffizienz verschiedener Ofenbauarten zu dem Ergebnis, dass ein Konvektionsofen, bei dem die Flammzone ganz entfällt und stattdessen in der Vorwärmkammer mittels eingebauter Gasbrenner indirekt beheizt wird, der thermische Wirkungsgrad am günstigsten ist. Dieser Gasofen kommt wegen der geringeren Abgasverluste mit knapp 140 kWh/t aus – allerdings um den Preis eines deutlich höheren Platzbedarfs, geringerer Leistung und eines trägeren Ofenbetriebs [1].

Um diese Einschränkungen zu umgehen, wird heute eine Bauform bevorzugt, bei der die Bolzen in einer sogenannten Flammzone direkt mit den Flammen der Gasbrenner beaufschlagt werden. Die Anlagen sind als Mehrbolzenöfen konzipiert, das heißt es wird stets eine Säule von zehn bis zwanzig hintereinander liegenden Bolzen kontinuierlich erwärmt.

reference values, incidentally, also apply to the continuous homogenization units developed by Hertwich, which today are used all over the world.

On the basis of these figures, the energy consumption for homogenizing in actual, modernized operations exceed the theoretically determined value by approximately 70 kWh/t (efficiency ratio approx. 67%). Here, however, it should be borne in mind that different conditions (alloys, bar sizes, furnace size, etc.) can shift these values markedly to one side or the other.

Billet heating in gas and induction furnaces

In actual operations different heating methods compete: gas furnaces of various designs, induction furnaces and combinations of the two. In terms of productivity the combination of a gas furnace (for the basic heating up to around 400 °C) and an induction furnace (for producing the taper up to about 480 °C) has proved to be a particularly advantageous system. Assuming an average heating temperature of 450 °C, the theoretical amount of energy for heating is 110 kWh/t.

When choosing the billet heating system energy efficiency is only one criterion among many. First of all the throughput has to be matched to the performance of the plant as a whole. The size of the structures involved must fit into the space available, a point of view which must be attended to especially in the context of modernization projects. Energy efficiency is important, because it has a decisive influence on operating costs. When weighing up these criteria, it is apparent that in some respects they are mutually contradictory.

By comparing the energy efficiency of various furnace designs, Otto Junker reached the conclusion that a convection furnace, in which there is no flame zone but instead heating takes place indirectly in a preheating chamber by means of built-in gas burners, is the best system for thermal efficiency. Owing to the lower waste gas losses this type of gas furnace consumes only around 140 kWh/t, but at the cost of substantially greater space occupation, lower power and slower furnace operation [1].

To overcome these limitations, nowadays a design is preferred in which the billets are heated directly by the flames of the gas burners in a so-called flame zone. The units are designed as multi-billet furnaces, i.e. columns of ten to twenty billets one behind another are always heated continuously. Since at



Mit einem zusätzlichen Vorwärmmagazin für acht Stangen, wie sie bei Schletter/HAI eingesetzt wird, lässt sich der Energiebedarf zur Bolzenerwärmung zusätzlich erniedrigen

With an additional preheat magazine for eight bars, as used at Schletter/HAI, the energy demand for billet heating can be reduced further

ist die Energieeffizienz nur ein Kriterium unter mehreren anderen. Zunächst muss der Durchsatz auf die Leistung der Gesamtanlage abgestimmt sein. Die Baugröße muss mit dem verfügbaren Platz zurechtkommen, ein Gesichtspunkt, der besonders bei Moderni-

Weil die Flammentemperatur mit ca. 1400 bis 1500 °C deutlich über der Bolzentemperatur liegt, ist die Aufheizzeit kürzer, die Produktion höher und der Platzbedarf tendenziell niedriger. Allerdings ist der thermische Wirkungsgrad wegen des limitierten Wärmeüber-

around 1400 to 1500 °C the flame temperature is much higher than the billet temperature, the heating time is shorter, production is higher and the space occupied tends to be smaller. However, owing to the limited heat transfer to the billet surface the thermal efficiency is relatively low, to the detriment of the specific energy consumption.

In this situation furnace manufacturers seek measures to overcome or compensate the disadvantageous properties. For improvements, a number of strategies are available for furnace designers:

- Using the waste gas energy. For this, the waste gases from the flame zone are passed in a counter-current stream into a preheat zone where the billets are preheated to 180 to 200 °C. This arrangement is nowadays state of the art.
- In addition, using the waste gases the combustion air is preheated. This possibility too is in general use.

A more far-ranging preheat has been developed by extrutec for the 'Schletter Press' (now at HAI in Soest). By means of a preheat magazine upstream from the conventional preheat, the thermal efficiency can be improved further. The preheat magazine, closed on all sides, is designed to hold a number of bars – in this case eight. The result is to increase the time available for heat transfer by a multiple. Depending on the manner of operation, in the magazine temperatures between 80 and 150 °C are reached.

- A further approach for increasing energy efficiency is to optimize the heat transfer at the surface of the billets. For its furnace design Otto Junker cites a value of 1 K/s. extrutec uses a larger number of burners of lower power. In that way the surface is heated more intensely and less energy remains in the waste gases. With this arrangement the company claims a heat transfer rate of 1.4 K/s (for 6" diameter); it decreases gradually with larger diameters).

Overall, with the current state of the art the thermal efficiency of a gas-fired heating furnace can reach between 65 and a maximum of 75%, depending on the design. These are absolute peak results.

With the induction furnace working in combination with a gas furnace such efficiencies are not reached; around 65% should be assumed. Thus, a gas and induction furnace combined can achieve about 70% at most, which corresponds to an operational energy use of 160 kWh/t. The authors of [2], in their investigation, assume values between 161 and 170 kWh/t. Otto Junker estimates around 185 kWh/t.

gangs an der Bolzenoberfläche relativ gering, was zu Lasten des spezifischen Energieverbrauchs geht.

In dieser Situation suchen die Ofenkonstruktionen nach Maßnahmen, mit denen sich die nachteiligen Eigenschaften umgehen bzw. ausgleichen lassen. Zur Verbesserung stehen dem Ofenkonstrukteur mehrere Strategien zur Verfügung:

- Die Abgasenergie wird genutzt. Dazu werden die Abgase aus der Flammzone im Gegenstrom in eine vorgeschaltete Vorwärmszone geleitet, wo sie die Bolzen auf 180 bis 200 °C vorwärmen. Diese Anordnung ist heute Stand der Technik.
- Zudem wird mithilfe der Abgase die Verbrennungsluft vorgewärmt; auch diese Möglichkeit wird allgemein genutzt.

Eine weitergehende Vorwärmung hat extrutec für die „Schletter-Press“ (jetzt bei HAI in Soest) entwickelt. Mittels eines der konventionellen Vorwärmung vorgelagerten Vorwärmmagazins lässt sich der thermische Wirkungsgrad weiter verbessern. Das allseitig abgeschlossene Vorwärmmagazin ist dabei für mehrere Stangen – in diesem Falle acht – ausgelegt. Dadurch gelingt es, die verfügbare Zeitspanne zum Wärmeübergang auf ein Mehrfaches zu steigern. Je nach Betriebsweise werden im Magazin Temperaturen zwischen 80 und 150 °C erreicht.

- Ein weiterer Ansatzpunkt zur Steigerung der Energieeffizienz ist die Optimierung des Wärmeübergangs an der Bolzenoberfläche. Otto Junker nennt für seine Ofenkonstruktion einen Wert von 1 K/s. extrutec setzt eine größere Anzahl an Brennern mit geringerer Leistung ein. Auf diese Weise wird die Oberfläche höher beaufschlagt und es verbleibt weniger Energie in den Abgasen. Den Wärmeübergang mit dieser Anordnung gibt das Unternehmen mit 1,4 K/s an.

Insgesamt können nach dem Stand der Technik beim thermischen Wirkungsgrad eines gasbeheizten Anwärmofens bauartbedingt Werte zwischen 65 und max. 75 Prozent erreicht werden. Das sind absolute Spitzenergebnisse.

Mit dem Induktionsofen, der mit dem Gasofen kombiniert arbeitet, wird solch ein Wirkungsgrad nicht erreicht; hier ist von etwa 65 Prozent auszugehen. Im Zusammenwirken von Gas- und Induktionsofen können mithin in der Spitze etwa 70 Prozent erreicht werden, was einem Energieeinsatz von 160 kWh/Tonne im Betrieb entspricht. Die Autoren zu [2] gehen in ihrer Untersuchung von Werten zwischen 161 und 170 kWh/t aus. Otto Junker rechnet mit ca. 185 kWh/t [1].

Dem theoretischen Energiebedarf von ca.

110 kWh/t steht somit ein in der Praxis erreichbarer Wert zwischen 160 und 185 kWh/t gegenüber. Die Verluste betragen somit, je nach Bauart der Anlage, zwischen 50 und 75 kWh/t (45 bis 68%).

Strangpressen – Produktivitätssteigerung bei reduziertem Energieeinsatz

Bei der Umformung leistet die Energie die Umformarbeit. Theoretisch lässt sich der dazu erforderliche Energiebetrag wegen der komplexen Vorgänge nicht bestimmen. Die Umformarbeit wird geleistet, indem sich Werkstoffpartikel in Richtung der maximalen Schubspannung gegeneinander verschieben und dabei Gleitlinienfelder ausbilden.

Zu einer ersten Näherung gelangt eine von SMS angestellte Untersuchung [1], die den Energieeinsatz aus dem Kraftverlauf errechnet, der für die Umformung beim Verpressen von fünf unterschiedlichen Bolzen ermittelt wurde (also ohne Leerlaufzeiten u. a.). Dieser theoretische Energiebedarfswert beträgt ca. 57 kWh/t.

Tatsächlich verursachen Neben- und Hilfsfunktionen Energieverluste. Allerdings ist die Situation insofern günstig, als hier eine Leistungssteigerung oft mit einem reduzierten Energieaufwand einhergeht. Das hat in jüngerer Zeit zu einer Anzahl Verbesserungen geführt.

Bei der konventionellen Kurzhub-Frontladerpresse von SMS lässt sich Energie einsparen, indem die jeweils nicht benötigten Hydraulikantriebe temporär abgeschaltet werden (Power on Demand). Von dieser Möglichkeit macht SMS, von der diese Pressenbauart nach wie vor bevorzugt geordert wird, erfolgreich Gebrauch.

Konsequent zu Ende gedacht wurde diese Strategie bei der 2014 vorgestellten HybrEx-Pressenbauweise. HybrEx reduziert den hydraulischen Antrieb auf die Funktionen, bei denen die hohe Energiedichte der Hydraulik unverzichtbar ist: Den reinen Pressvorgang, das Pressrestscheren sowie die Kasettenverschiebung. Für alle übrigen Bewegungen mit relativ geringem Kraftbedarf stehen jeweils elektrische Servoantriebe zur Verfügung. Die in den vergangenen Jahren beobachtete Leistungssteigerung und die kostengünstigere Verfügbarkeit dieser Antriebe kommen der Entwicklung entgegen.

Elektrische Servomotoren reduzieren den Energiebedarf; je nach Einsatzfall lässt sich eine Ersparnis zwischen 35 und 55 Prozent erzielen. Gleichzeitig lassen sich mit elektrischen Servoantrieben höhere Geschwindigkeiten erreichen – das bedeutet verkürzte

Nebenzeiten. Besonders drastisch reduziert sich dabei der Verbrauch während der Nebenzeiten, da in diesem Zeitraum der Hauptantrieb ausgeschaltet bleibt. Und auch während des Pressens wird Energie gespart, weil nur die tatsächlich benötigten Pumpen in Betrieb sind. Eine Beispielrechnung zeigt, dass beim Betrieb einer 25 MN-Pressen der durchschnittliche Energieverbrauch über den gesamten Presszyklus von ca. 2,75 kW/s auf gut 1,6 kW/s sinkt. Im Ergebnis lassen sich mit dieser Pressenbauart bis zu 30 Prozent Energie einsparen.

Weitere Einsparungen ergeben bei ungeplantem Stillstand der Presse oder beim Bolzenwechsel (wo sonst die Pumpen weiter im Leerlauf drehen).

Über den tatsächlichen Energieverbrauch einer Presse gibt die Untersuchung von SMS an einer 44-MN-Kurzhub-Frontladerpresse Auskunft. An dieser Presse wurde für unterschiedliche Profilformen ein realer Wert von ca. 98 kWh/t ermittelt. Im Vergleich zur ermittelten Umformenergie bedeutet das Verluste in Höhe von 40 kWh/t bzw. 70 Prozent. Unterstellt man eine Energieersparnis von

Thus, a value between 160 and 185 kWh/t attainable in practice compares with the theoretical energy demand of around 110 kWh/t. The losses therefore amount to between 50 and 75 kWh/t (45 to 68%) depending on the design of the unit.

Extrusion – increasing productivity while reducing energy utilization

During deformation the energy used performs deformation work. Owing to the complex processes involved, the amount of energy required for this cannot be determined theoretically. Deformation work is performed in that particles of the material are displaced relative to one another in the direction of the maximum shear stress and therefore form slip-line fields.

To a first approximation, an investigation [1] commissioned by SMS, has calculated the energy consumption from the force variation during the extrusion deformation of five different billets (i.e. without idling times among other things). This theoretical energy demand value amounts to around 57 kWh/t.

Actually, secondary and auxiliary functions result in energy losses. However, the situation is favourable to the extent that a performance increase is often accompanied by reduced energy expenditure. Recently that has led to a number of improvements.

In the conventional, short-stroke front-loading presses of SMS energy can be saved in that any hydraulic drives not in use can be temporarily switched off ('power on demand'). SMS, which still prefers to order this press design, has made successful use of that possibility.

This strategy has been consistently followed to its end result in the HybrEx press design presented in 2014. HybrEx reduces the hydraulic drive to those functions for which the high energy density of hydraulic systems is absolutely necessary: the extrusion process itself, the shearing off of extrusion discards and the displacement of cassettes. For all other movements requiring relatively little force electric servo-drives are available. The performance increases observed in recent years and the cheaper availability of such drives favour this development.

Electric servomotors reduce energy demand; depending on the application, a saving between 35 and 55% can be achieved. At the same time, with electric servo-drives higher speeds can be reached and that means shorter idle times. Consumption during idle times is reduced particularly drastically, since during those periods the main drive remains



© SMS group

Das von SMS entwickelte HybrEx-Konzept kombiniert den hydraulischen Antrieb mit mehreren elektrischen Servoantrieben. Neben anderen Vorteilen konnte damit der Energiebedarf deutlich verringert werden.

The HybrEx concept developed by SMS combines the hydraulic drive with a number of electric servo-drives. Besides other advantages this substantially reduces the energy demand.

Einen anderen Weg hat Pressenbauer Presezzi aufgezeigt. Die für Schletter konzipierte 33-MN-Pressen in Kurzhub-Frontladerbauart setzt zum Antrieb der Pumpen erstmalig frequenzumrichter-gesteuerte Motoren ein. Die Regelung erfolgt hier nicht mehr wie bisher über die Pumpe, sondern durch den Antrieb. Dabei wird exakt das Hydraulikvolumen gefördert, das für die jeweilige Bewegung der Presse benötigt wird. Je nach Bedarf werden Pumpen automatisch dazu- oder abgeschaltet und die Drehzahl entsprechend angepasst. Eine Leerlaufförderung über Bypass gibt es nicht mehr.

Wenn alle Pumpen laufen ergibt sich dadurch eine Reduktion des Energieverbrauchs um 12 bis 14 Prozent. Da während des Pressvorgangs überwiegend etwa die Hälfte der Pumpen ganz abgeschaltet werden und nicht im Leerlauf arbeiten, reduziert sich die Antriebsenergie um weitere 10 bis 15 Prozent.

20 Prozent, wie sie mit HybrEx erreicht und auch für die Schletter-Pressen genannt werden, würden sich die Verluste auf 21 kWh/t (37%) verringern.

Maßgeschneiderte Profilkühlung steigert die Effizienz

Das aus dem Werkzeug austretende Profil wird gekühlt. Wie dabei verfahren wird, hängt maßgeblich von der verpressten Legierung ab. Je nach erforderlicher Abkühlgeschwindigkeit wird wahlweise mit Luft, Wasser oder Sprühnebel auf ein Temperaturniveau in der Regel zwischen 150 und 200 °C heruntergekühlt. Eine zusätzliche Abkühlung erfährt das Profil im Auslauf, in dem dazu Ventilatoren installiert sind, sowie schließlich auf dem Kühlbett durch Konvektion an ruhender Luft.

Exakt berechnen lässt sich der theoretische Energieverbrauch nicht, und auch eine

switched off. And even during the extrusion process energy is saved, because only those pumps which are actually needed are operated. An example calculation shows that when operating a 25-MN press the average energy consumption over the entire extrusion cycle is reduced from around 2,75 to at least 1.6 kW/s. As a result, with this press design energy savings of up to 30% can be achieved.

Another way has been indicated by the press manufacturer Presezzi. For the first time, the 33-MN press designed for Schletter, of short-stroke, front-loading configuration, uses frequency-converter-controlled motors for the pumps. In this case the regulation takes place no longer as before by means of the pumps, but by the drive. During this, exactly that hydraulic volume is delivered, which is required for the respective movement of the press. Pumps are automatically switched on or off as necessary, and their rotation speed is adapted correspondingly. There is no longer any idling delivery via a bypass.

When all the pumps are running this results in a reduction of the energy consumption by 12 to 14%. Since during the extrusion process most of the time about half the pumps are switched off completely and are not working in an idling mode, the drive energy is reduced by a further 10 to 15%. Further savings occur during unplanned stoppages of the press or when the billet is changed (when otherwise the pumps would still rotate in the idling mode).

The investigation by SMS also gives information about the actual energy consumption of a press, for a 44-MN short-stroke, front-loader machine. On that press a real value of around 98 kWh/t was determined for various profile shapes. Compared with the deformation energy determined, this corresponds to a loss amounting to 40 kWh/t or 70%. If one assumes an energy saving of 20%, as achieved with HybriX and also claimed for the Schletter press, the losses would be reduced to 21 kWh/t (37%).

Tailored profile cooling increases efficiency

The profile emerging from the die is cooled. How this is done depends decisively on the alloy being extruded. Depending on the cooling rate required, cooling is carried out with air, water, or a sprayed mist down to a temperature level as a rule between 150 and 200 °C. The profile is cooled additionally during the run-out, where fans are installed for that purpose, and finally on the cooling bed by convection in still air.

The theoretical energy demand cannot be calculated exactly, and even an estimate would be uncertain. However, exactly determined data are given in an investigation and optimization of the cooling station, carried out by extrutec in collaboration with Gerhardt. In the initial condition the cooling process took place in a tunnel seven metres long with fixed water nozzles. The fixed nozzle arrangement and the relatively large distance between the nozzles and the profile are not optimal.

As part of a fundamental optimization process a new profile cooling system with thirteen pivoting and radially adjustable nozzle arrays was implemented, with which the cooling can be adapted to the task concerned. The distance between individual nozzles and the profile can be adjusted optimally, so that the necessary quantity of water and the power of the pumps can be used more efficiently.

As a result, it proved possible to reduce the initial value (pump energy consumption) from 47 to 28.5 kWh/t with the new cooling system, namely by 40%. Besides the energy saving of 18.5 kWh/t the consumption of cooling water, originally 102 m³/t, fell to around 49 m³/t. This result at least suggests the conclusion that with the often-used water cooling, optimizing the equipment could achieve a value of around 30 kWh/t.

Stretching, sawing and transporting

The profiles, cooled to at least 60 °C, undergo a stretching process to eliminate the internal stresses that lead to the distortion of the profile. In this a tensile stress is superimposed, which must be at least large enough for the elastic internal stresses to result in local plastic flow processes and, related thereto, to elimination of the internal stresses. An estimation of the energy needed for this, from the stretching force and the strain it produces, shows that less than 1 kWh/t is needed.

With a medium-sized billet about ten saw cuts per tonne on the round material (for trimming and cutting up into billets) and a variable number of cuts in the finished profile have to be made. Transport takes place automatically in modern extrusion plants by way of roller tracks, chain conveyors and automatic cranes. According to [1] the energy demand for all these working steps adds up to around 2% of the total demand. In energy-saving considerations that proportion is unimportant. However, that does not apply if the often necessary transport between an external cast house and the extrusion plant is taken into account. →

Abschätzung wäre unsicher. Exakt ermittelte Daten nennt jedoch eine Untersuchung und Optimierung der Kühlstation, die extrutec in Zusammenarbeit mit Gerhardt durchgeführt hat. Im Ausgangszustand fand der Abkühlungsprozess in einem sieben Meter langen Kühltunnel mit starren Wasserdüsen statt. Die starre Düsenanordnung sowie der relativ große Abstand zwischen Düse und Profil sind nicht optimal.

Im Rahmen einer grundlegenden Optimierung wurde eine neue Profilkühlung mit dreizehn schwenkbaren und radial verstellbaren Düsensträngen implementiert, mit der sich die Kühlung an die jeweilige Aufgabe anpassen lässt. Der Abstand zwischen den einzelnen Düsen und dem Profil kann optimal eingestellt werden, sodass die benötigte Wassermenge sowie die erforderliche Leistung der Pumpen effizienter nutzbar ist.

Im Ergebnis konnte der Ausgangswert (Energieverbrauch der Pumpen) von 47 kWh/t mit der neuen Kühlung auf 28,5 kWh/t bzw. um 40 Prozent reduziert werden. Neben der Energieersparnis von 18,5 kWh/t sank der Kühlwasserverbrauch von 102 auf 49 m³/t. Das Ergebnis lässt zumindest den Schluss zu, dass bei der häufig eingesetzten Wasserkühlung mit optimierten Anlagen ein Wert von ca. 30 kWh/t erreichbar ist.

Recken, Sägen, Transportieren

Die auf mindestens 60 °C abgekühlten Profile werden zum Abbau der Eigenspannungen, die zu Verformungen des Profils führen, einem Reckvorgang unterworfen. Dabei wird eine Zugspannung überlagert, die mindestens so groß sein muss, dass die elastischen Eigenspannungen zu lokalen plastischen Fließvorgängen und damit verbunden zum Abbau der Eigenspannungen führen. Eine Abschätzung der dazu notwendigen Energie aus Reckkraft und Reckweg lässt erkennen, dass dazu deutlich weniger als 1 kWh/t erforderlich ist.

Bei einem mittleren Bolzendurchmesser sind etwa zehn Sägeschnitte je Tonne am Rundmaterial (zum Schöpfen und Aufteilen in Bolzen) sowie eine variable Anzahl Schnitte am fertigen Profil auszuführen. Die Transporte sind in modernen Presswerken mittels Rollenbahnen, Kettenförderern und Automatikkränen automatisiert. Laut [1] addiert sich der Energiebedarf für alle diese Arbeitsgänge auf etwa zwei Prozent des Gesamtbedarfs; bei Überlegungen zur Energieersparnis spielt dieser Anteil keine Rolle. Das gilt allerdings nicht, wenn man die häufig notwendigen Transporte zwischen externer Gießerei und Presswerk in Rechnung stellt. →



Bei der Auslegung der Auslagerungsöfen kommt es aus Sicht des Energiebedarfs auf gute Isolierung und optimierte Luftführung im Ofen an

In the design of artificial ageing furnaces, from the standpoint of energy demand the important factors are good insulation and optimised air circulation in the furnace

© Aluminium Laufen

Warmauslagerung

Bei einer Reihe von Legierungen lassen sich die mechanischen Eigenschaften durch ein Warmauslagern bei Temperaturen bis 200 °C verbessern. Dieser Vorgang erfolgt in Kammeröfen, in denen die Profilabschnitte in einer Zeitspanne bis zwei Stunden aufgeheizt und längere Zeit auf dieser Temperatur gehalten werden. Die Abkühlung erfolgt durch Konvektion an ruhender Luft. Der theoretische Energiebedarf errechnet sich aus der spezifischen Wärmekapazität zu etwa 45 kWh/t.

Moderne Warmauslagerungsöfen zeichnen sich, was die Energieeffizienz betrifft, durch einen homogenen Wärmeeintrag bei kurzen Aufheizzeiten sowie eine wirksame Isolierung aus. Die Öfen arbeiten mit Radialventilatoren, die die Warmluft durch Schlitzdüsen einblasen. Der dazu erforderliche Energiebedarf ist wiederum sehr stark von den Wärmebehandlungsprogrammen abhängig. Für ein Standardprogramm kann man nach Auskunft von extrutec von etwa 80 bis 90 kWh/t (Gas) und 20 kWh/t elektrischer Energie ausgehen.

Zusammenfassung der Ergebnisse und Bewertung

Für den gesamten Strangpressprozess (einschließlich Homogenisieren und Warmauslagern) ergibt sich ein theoretischer, idealisier-

ter Energieverbrauch in Höhe von ca. 400 kWh je Tonne. Die Haupt-Energieverbraucher sind der Homogenisierofen (ca. 35%), die Bolzenanwärmung (28%), die Strangpresse einschl. Kühlung (22%) sowie der Warmauslagerungsöfen (11%). Der Rest wird für das Recken, Sägen und Transportieren benötigt.

Die realen Verbrauchswerte addieren sich, wenn man Prozesse und Anlagen mit optimaler Energieeffizienz berücksichtigt, zu insgesamt ca. 590 kWh/t. Es handelt sich bei diesem Wert zwar um ein Ergebnis, das in der Summe bisher von keinem Presswerk erreicht werden dürfte, unter idealen Bedingungen erscheint allerdings heute ein Energie-Wirkungsgrad von bis zu 70 Prozent möglich zu sein. Da sich die moderne Anlagentechnik schrittweise durchsetzen dürfte, markiert dieser Wert eine realistische Zielgröße der Energieeffizienz. Insgesamt ist dieses Resultat sowohl aus wirtschaftlicher Sicht als auch unter Umweltaspekten zufriedenstellend.

Literaturhinweis

- 1) Valder, G., van Treek, J.: Billet heating options for isothermal extrusion, ALUMINIUM 92 (2016) 9, S. 24-28
- 2) Anon.: ALUMINIUM 4/2016, Jg. 92, S. 47-51

Autor

Dr.-Ing. Peter Johnne war lange Jahre Chefredakteur dieser Zeitschrift und arbeitet jetzt als freier Fachjournalist in Haan im Rheinland.

Artificial ageing

With a series of alloys the mechanical properties can be improved by artificial ageing at temperatures up to 200 °C. This process is carried out in chamber furnaces in which the profiles are heated in a time interval of up to two hours and held at that temperature for longer periods. They are cooled by convection in still air. The specific energy demand is calculated from the specific heat capacity as around 45 kWh/t.

So far as energy efficiency is concerned modern artificial ageing furnaces are characterized by homogeneous heat input during short heating times, and effective insulation. The furnaces work with radial fans which blow in the hot air through slit nozzles; the necessary demand for energy is largely dependent on the chosen heat treatment programme. For a standard programme one can assume an energy demand of 80 to 90 kWh/t of natural gas and 20 kWh/t of electrical energy, according to extrutec.

Summary of results and evaluation

For the extrusion process as a whole (including homogenization and artificial ageing) a theoretical, idealized energy consumption of the order of around 400 kWh per tonne is typical. The main energy consumers are the homogenizing furnace (around 35%), the billet heating (28%), the extrusion press including cooling (22%) and the artificial ageing furnace (11%). The remainder is taken up by stretching, sawing and transporting.

The actual consumption values, considering process and equipment with optimum energy efficiency, add up to a total of 590 kWh/t. Although this value is a result not achieved by any extrusion plant until now, under ideal conditions it seems nowadays possible to achieve an energy efficiency of 70%. Since modern plant technique is step by step becoming more widespread, that value represents a realistic target figure. Overall, that result is satisfactory both from an economic stand-point and for environmental aspects.

Reference

- 1) Valder, G., van Treek, J.: Billet heating options for isothermal extrusion, ALUMINIUM 92 (2016) 9, pp. 24-28
- 2) Anon.: ALUMINIUM 92 (2016) 4, pp. 47-51

Author

Dr.-Ing. Peter Johnne was the editor in chief of this Journal for many years and is now working as a freelance technical journalist in Haan, Germany.