

Hochtemperatur- Vakuumaufkohlung für große Aufkohlungstiefen an hoch belasteten Rundstahlketten

The way to high temperature vacuum carburizing for large carburizing depths in highly stressed steel chains

Alexander Koch, Helmut Steinke, Frank Brinkbäumer, Gunther Schmitt



Alexander Koch
HEKO Ketten GmbH



Helmut Steinke
HEKO Ketten GmbH



Frank Brinkbäumer
HEKO Ketten GmbH



Gunther Schmitt
ALD
Vacuum Technologies AG

Zur Ergänzung der bestehenden Härtereier und Kapazitätserweiterung suchte das Kettenwerk HEKO in Wickede nach einem modernen, saubereren, umweltverträglichen und vor allen flexibel einsetzbaren Wärmebehandlungsverfahren als Alternative zur bekannten Gasaufkohlung mit Ölbadabschreckung. Weiterhin will man die neue Technologie auch als Dienstleistung anbieten. Das eigene Produktspektrum umfasst Rundstahlketten mit einer Nenndicke von 6 bis 42 mm und einer Teilung von ca. 20 bis 150 mm. Ein Meter dieser Ketten bringt etwa 0,8 bis 36 kg auf die Waage. Im rauen Betrieb der Zementwerke, Kohlekraftwerke, etc. müssen sich die Ketten täglich in den Becherwerken und Kettenförderern beweisen. Dazu sind die technologischen Eigenschaften einer Oberflächenhärte von über 800 HV bei ausreichender Bruchspannung Mindestkriterien. Die gesamte Aufkohlungstiefe richtet sich nach dem Kettentyp und liegt üblicherweise bei 10 % der Nenndicke und die Einsatzhärtungstiefe CHD550 mindestens bei 5 bis 6 % der Nenndicke. So muss eine Kette aus Rundstahl mit 42 mm Glieddurchmesser 4,2 mm aufgekühlt sein und eine Einsatzhärtungstiefe von 3,0 mm erreichen.

Zur drastischen Reduzierung der Aufkohlungsdauer wurde auf die Hochtemperaturaufkohlung im Bereich 1030 bis 1050°C gesetzt. Obwohl die Chargen zur Kornrückfeinung nach dem Aufkohlen zum Einfachhärten nochmals auf die Kernhärtetemperatur von 870°C für 3 Stunden erwärmt werden müssen, ergeben sich deutliche Vorteile bei der Behandlungsdauer. Die kurzen Behandlungsdauern beim Erwärmen auf Aufkohlungs- bzw. Härtungstemperatur sind bei den schweren Chargen nur unter Konvektionserwärmung möglich, reine Strahlungserwärmung im Vakuum würde die Behandlungsdauer um mindestens eine Stunde pro Prozess verlängern. Das Diagramm in Bild 1 zeigt die gesamte Behandlungsdauer inkl. Aufheizen für einen Aufkohlungsprozess bei 950°C und Direkthärtung gegenüber der Anwendung von 1050°C inklusive zusätzlicher Einfachhärtung von 870°C. Übersteigt die Einsatzhärtungstiefe einen Wert von 1,3 mm, wird die Gesamtbehandlungsdauer auch für das Hochtemperaturaufkohlen + Einfachhärten im Vergleich zum Direkthärten bei 950°C bereits kürzer.

In order to complete the existing heat treatment shop and expand capacity, the chain works HEKO in Wickede was looking for a modern, clean, ecological and, most of all, flexible heat treatment process as an alternative to conventional gas carburizing with oil quenching. Furthermore, the new technology is to be offered as a service. Their own product range comprises steel chains with a rated thickness of 6 to 42 mm and a pitch of approx. 20 to 150 mm. One meter of chain weighs approx. 0,8 - 36 kg.

During the heavy duty use in cement works, coal-fired power plants etc. the chains must prove themselves every day in bucket conveyors and chain conveyors. Therefore the technological properties like a surface hardness of more than 800 HV at sufficient ultimate strength are minimum criteria. The total carburizing depth depends on the chain type and usually amounts to 10 % of the nominal thickness and the case hardening depth CHD550 is at least 5 - 6 % of the nominal thickness. Thus, a round link chain with a diameter of 42 mm must be carburized 4,2 mm and must obtain a CHD550 of 3,0 mm.

For a drastic reduction of carburizing time, high temperature carburizing in the range of 1030 - 1050 °C was determined. After carburizing at that high temperatures a grain refinement process is necessary. Although these charges need to be reheated for 3 hours to a core hardness temperature of 870°C and subsequently quench hardened there are still advantages regarding the total process time. For heavy loads, short treatment cycles during heating to carburizing temperature resp. hardening temperature are only possible with convective heating. Radiation heating in vacuum would extend the treatment time by at least one hour per cycle. The diagram in figure 1 shows the total treatment time including heating to a carburizing temperature of 950 °C and direct hardening, as compared to the application at 1050 °C including additional single hardening at 870 °C. Once the case hardening depth exceeds a value of 1,3 mm, the total treatment time, even for high temperature carburizing and single hardening, is already shorter than with direct hardening at 950 °C.

Given a case hardening depth of 2 mm the total process time is reduced by 40 % and

Bei einer Einsatzhärtungstiefe von 2,0 mm wird eine Reduzierung der Gesamtdauer von 40% und bei 3,0 mm eine Halbierung der Ofenbelegung erreicht. Nochmals 3 Stunden ließen sich bei Einsatzstählen mit besonderer Feinkornstabilität einsparen, bei denen eine Direkthärtung auch bei 1050°C möglich ist.

Da ein breites Spektrum an verschiedenen Einsatzhärtungstiefen aufgekohlt bzw. einsatzgehärtet werden muss, schied eine starre Durchstoßanlage aus. Außerdem bestand der Wunsch nach einer einfachen Kapazitätserweiterung, da man nicht von Anfang an alle Produkte über die neue Härteanlage fahren wollte. Eine Anlage mit durchschnittlich 5000 kg Durchsatz pro Tag bei einer mittleren Einsatzhärtungstiefe von 2,0 mm, bei der eine Verdopplung der Kapazität möglich ist, wurde aus sinnvoll und wirtschaftlich angesehen. Zur optimalen Ausnutzung der Anlage sollte auch über Nacht und am Wochenende ohne Bedienungspersonal gefahren werden können.

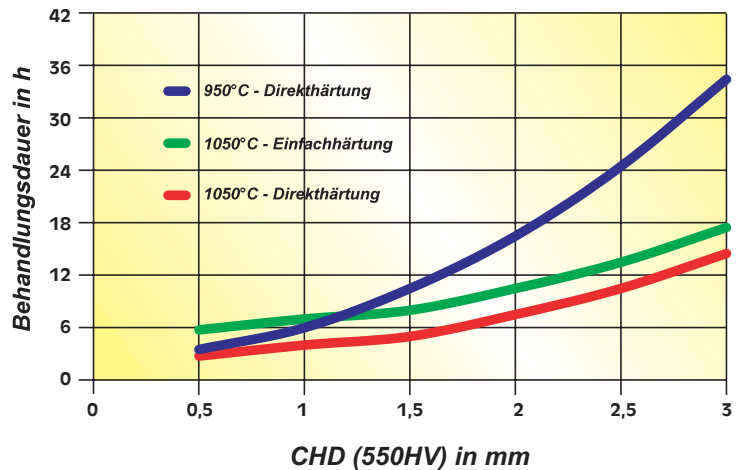
Die ALD ModulTherm-Anlage, Bild 2, erfüllt diese Anforderungen an Leistungsdurchsatz und Flexibilität. Mehrere Behandlungskammern können von einer Chargentransfer- und Abschreckkammer bedient werden, die auf einem Schienensystem vor den Behandlungskammern verfährt. Die unbehandelten Chargen können automatisch aus einem Puffer entnommen und nach vorher bestimmten Abläufen über Vorreinigung und Voroxidation oder auch direkt den Wärmebehandlungskammern zugeführt werden. Da das Transfermodul jede Behandlungskammer individuell anfahren kann, ist ein beliebiger „Chargenmix“ möglich. Während in der einen Behandlungskammer auf 3 mm aufgekohlt wird, kann in einer anderen Kammer eine Charge gehärtet, oder auch gegläht werden. Fertigchargen werden automatisch im Puffer eingelagert oder vom Bedienungspersonal zum Entladen angefordert.

In umfangreichen Vorversuchen und Lohnaufträgen wurden die Anforderungen an diesen Anlagentyp in der Lohnhärterei Wegener Härtetechnik, Homburg verifiziert.

Die Anlage kann bei HEKO bis auf 7 Behandlungskammern erweitert werden. Durch die Modularität wird der anstehende Ausbau von 2 auf 7 Kammern parallel zur Produktion geschehen, was den Wärmebehandlungsdurchsatz nicht beeinträchtigt.

Die ModulTherm Anlage ist seit November 2007 in Betrieb und die Firma HEKO schaut auf eine erfolgreiche Startphase zurück, in der die Qualifizierung für das gesamte HEKO Programm erarbeitet wurde. Es stehen jetzt etwa 30 Rezepte für verschiedene Einsatzstähle und Kettenabmessungen zur Verfügung.

Für die Rezeptentwicklung wurde eine spezielle Simulationssoftware genutzt. Mit diesem Werkzeug ist es möglich, die Kohlenstoffanreicherung und das sich daraus entwickelnde Kohlenstoffprofil der Stahloberfläche zu simulieren.



regarding 3 mm it is halved. An additional three hours can be saved in the treatment of case hardening steels with a special fine grain stability, where direct hardening is also possible at 1050 °C.

Since a wide range of various case hardening depths must be carburized resp. casehardened, the installation of an inflexible pusher furnace was not considered. Moreover an easy capacity expansion was desired because not all products should be treated in the new hardening plant. A plant, averaging a throughput of 5.000 kg per day at a mean case hardening depth of 2 mm, allowing to double the capacity was considered reasonable and economical. The optimal use of the plant also includes operation at night time and on weekends without operating personnel.

ALD's ModulTherm system, figure 2, meets these requirements regarding throughput and flexibility. Several treatment chambers can be served from one charge transfer- and quench chamber, moving on rails in front of the treat-

Bild 1
Vergleich der kompletten Behandlungsdauern inkl. Aufheizen bei 950°C und 1050°C Aufkohlungstemperatur. Einsatzhärten im Vakuumofen von Ketten aus 15CrNi6

Fig. 1:
Comparison of complete process times including heating up for carburizing temperatures of 950°C and 1050°C. Case hardening of 15CrNi6-chains in a vacuum carburizing furnace.

Bild 2
ALD - ModulTherm Anlage bei Fa. HEKO

Fig 2:
ALD Modultherm facility at HEKO



Bei der Vakuumaufkohlung wird durch sehr kurze Pulse, in denen Acetylen bei etwa 10-15 mbar in die Behandlungskammer in gedüst wird, eine Sättigung der Oberfläche erreicht. Nach jedem Puls erfolgt die so genannte Diffusionspause in der der Kohlenstoff in das Werkstück diffundiert und der Randkohlenstoffgehalt etwas absinkt. Die finale Diffusion führt zur Erreichung des angestrebten Kohlenstoffprofils mit einem Rand-C von etwa 0,75 %. Bild 3 zeigt den Kohlenstoffverlauf als Ergebnis der Simulation, und Bild 4 das reale Ergebnis an einer Produktionscharge.

Bild 3
Ergebnisdarstellung
der VC-Sim Software

Fig. 3:
Results of VC-Sim
software

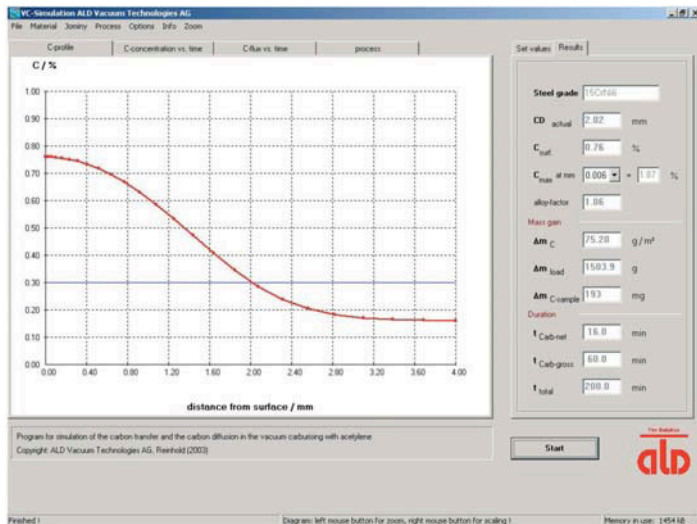
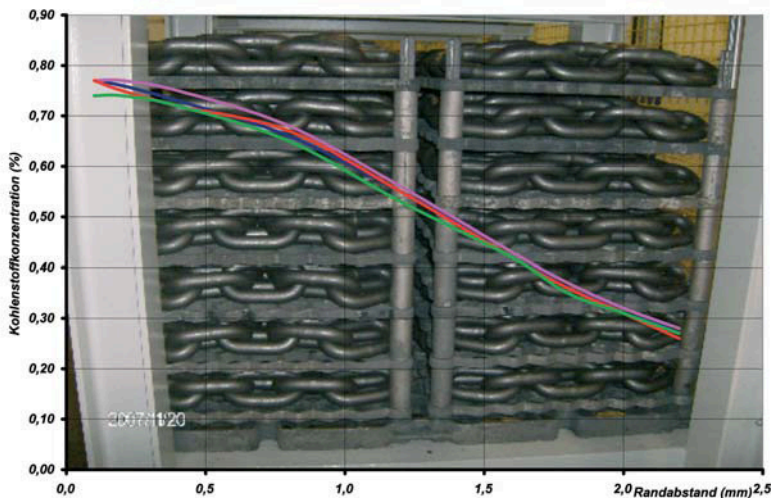


Bild 4
Kohlenstoffprofil einer
Charge mit 713 kg netto /
968 kg brutto

Fig. 4:
Carbon profile of a 713 kg
batch (net) / 968 gross

In 8 Pulsen werden 2 Nm³ Acetylen (C₂H₂) in die Behandlungskammer eingedüst und die Charge mit 15 m² Oberfläche nimmt ca. 1500 gr. Kohlenstoff auf. Die Kohlenstoffaufnahme wird über eine normierte Probe durch Wiegen auf einer Feinwaage vor und nach der Behandlung ermittelt. In diesem Fall erhöhte sich die Masse um ca. 190 mg. Der hohe Kohlenstoffausnutzungsgrad von etwa 75% kann nur erreicht werden, wenn der Acetylenfluss im Puls der Aufnahmefähigkeit des Stahles angepasst wird.



In der installierten Anlage ist das Abschrecken in Helium möglich, weshalb auch bei dichter und wirtschaftlicher Chargierung eine sehr gleichmäßige Härteverteilung erzielt wird.

The untreated charges are loaded automatically from a buffer and transferred either directly to the heat treatment chambers or according to the preselected processes such as pre-cleaning and pre-oxidation. Since the transfer module can access each treatment chamber individually any kind of "charge mix" is possible. While carburizing to 3 mm is performed in one treatment chamber, a charge may be hardened or even annealed in another chamber. Ready heat treated charges are automatically stored in the buffer or unloaded by the operating personnel.

During comprehensive pre-testing and service heat treating, the demands on that heat treatment system were verified at the commercial heat treating company Wegener Härtetechnik, Homburg.

The plant at HEKO can be expanded up to 7 treatment chambers. The modularity allows to perform the upcoming expansion from 2 to 7 chambers during production, which will not interfere with the heat treatment throughput.

The ModulTherm plant has been operating since November 2007 and HEKO is looking back on a successful starting phase, during which the qualification for the entire HEKO program was worked out. There are now approx. 30 recipes available for various case hardening steels and chain dimensions.

A special simulation software was used for the recipe development. This tool allows to simulate the carbon accumulation and the resulting carbon profile of the steel surface. Through short pulses, injection acetylene at approx. 10 - 15 mbar into the treatment chamber during vacuum carburizing, saturation of the surface is obtained. Each pulse is followed by a so-called diffusion pause, during which the carbon diffuses into the work piece and the surface carbon content is slightly reduced. The final diffusion leads to the required carbon profile with a surface C of approx. 0,75 %.

Figure 3 shows the carbon development as a result of the simulation; figure 4 shows the actual result in a production charge.

A total amount of 2 Nm³ acetylene (C₂H₂) in 8 pulses are injected into the treatment chamber. The charge with a surface of approx. 15 m² absorbs approx. 1.500 g carbon. The carbon absorption is measured by weighing a standardized sample on a precision scale before and after treatment. In this case, the mass increased by approx. 190 mg. The high level of carbon utilization of approx. 75 % can only be obtained if the acetylene flow in the pulse is adjusted to the steel's absorption capacity.

Quenching in helium is possible in the installed plant. Therefore, a very homogeneous hardness distribution is obtained even in dense and economic charges.